

Resistencia química del hormigón

XXI. Influencia de la adición de escoria a un cemento portland de alta resistencia inicial.

Estudio de la concentración iónica del sistema cemento 1/escoria-agua potable filtrada

JOSE LUIS SAGRERA-MORENO y DEMETRIO GASPAR-TEBAR
Drs. en Ciencias Químicas (IETCC/CSIC)

RESUMEN

En el presente trabajo, continuación de otros, se estudia la variación del pH, así como de la concentración de los iones Ca (II) y $\text{SO}_4 \text{(II)}$ de los medios (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las series de probetas de mortero (1 : 3) hechas con un cemento portland industrial de alta resistencia inicial (cemento 1 < > P-550-ARI) y con las mezclas cemento 1/escoria = 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70, en peso, durante el período de curado (21 días) y, posteriormente, durante 56 - 90 - 180 y 360 días (períodos de conservación), en esta etapa. Así mismo, se estudia la composición química de las nuevas fases sólidas formadas en dichos medios. La composición estructural de dichas fases sólidas (calcita) se determinó por DRX, de ello se dió cuenta en (2).

En los distintos casos estudiados se ha puesto de manifiesto que se produce un incremento del contenido de Ca (II) en la disolución y en las mencionadas fases sólidas, así como del valor del pH, que dependen de la mezcla utilizada para fabricar las diversas series de probetas y del tiempo de conservación. El Ca (II) que se encuentra en la disolución (agua potable filtrada) es menor de $0,1 \times 10^{-2}$ moles (en la mayoría de los casos es inferior a $0,07 \times 10^{-2}$ moles) mientras que en la nueva fase sólida es mayor (normalmente, superior a $0,3 \times 10^{-2}$ moles).

Por el contrario, el ion $\text{SO}_4 \text{(II)}$ no se ha detectado en las mencionadas fases sólidas, encontrándose en pequeñas cantidades en las diversas fases líquidas (agua potable filtrada); menor de $0,08 \times 10^{-2}$ moles en la mayoría de los casos.

SUMMARY

In the present work, a continuation of others, there is studied the variation of the pH, and likewise the concentration of the ions Ca (II) and $\text{SO}_4 \text{(II)}$ of the means (filtered potable water) in which there have been submerged the test tube series of mortar (1 : 3) made with an industrial Portland cement of high initial resistance (cement 1 < > P-550-ARI) and with the cement mixtures 1/slag = 85/15 - 65/35 - 40/60 and 30/70, in weight, submerged during the curing period (21 days) and later during 56 - 90 - 180 and 360 days (conservation periods), in this stage. There is likewise studied the chemical composition of the new solid phases formed in said means. The structural composition of said solid phases (calcite) was determined by DRX, and account of this was given in (2).

In the different cases studied it was demonstrated that an increase of the content of Ca (II) is produced in the dissolution and in the solid phases mentioned, and likewise of the value of the pH, which depends on the mixture utilized to manufacture the different test tube series and on the time of conservation. The Ca (II) found in the dissolution (filtered potable water) is less than $0,1 \times 10^{-2}$ mols (in the majority of cases it is less than $0,07 \times 10^{-2}$ mols) while in the new solid phase it is greater (normally, greater than $0,3 \times 10^{-2}$ mols).

On the contrary, the ion $\text{SO}_4 \text{(II)}$ has not been detected in the solid phases mentioned, being found in small quantities in the different liquid phases (filtered potable water); less than $0,08 \times 10^{-2}$ mols in the majority of the cases.

1. INTRODUCCION

En otros trabajos anteriores (1) (2) (3) se estudió:

- La evolución que experimenta la resistencia química por el método de Koch-Steinegger y las

modificaciones sufridas por las resistencias mecánicas a flexotracción de las probetas de mortero (1 : 3) de $1 \times 1 \times 6$ cm hechas con el cemento portland industrial de alta resistencia inicial (cemento 1 <> P-550-ARI), objeto del presente artículo, y con las mezclas cemento 1/escoria = 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70, en peso, sumergidas en agua potable filtrada (*), unas series de 12 probetas, y en agua de mar artificial (**), otras series análogas, durante 56 - 90 - 180 y 360 días después de haberlas curado 24 horas en un recinto saturado de humedad y, a continuación, bajo agua potable filtrada hasta 22 días (1).

- b) La composición estructural de las nuevas fases sólidas formadas en los medios de curado y de conservación (agua potable filtrada) (2), así como de conservación-ataque (agua de mar artificial) (3), en donde han estado sumergidas las mencionadas series de probetas de mortero.
- c) La evolución de las características estructurales de la fracción enriquecida (cemento hidratado y cemento hidratado-atacado), extraída de uno de los prismas de mortero de cada serie de probetas del sistema cemento 1/escoria-agua potable filtrada (2) y del sistema cemento 1/escoria-agua de mar artificial (3).

En el presente artículo, continuación de los anteriores y que se ampliará con otros, se estudia la variación de la concentración de los iones calcio y sulfato en los medios de curado y de conservación (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las diversas series de probetas de mortero, así como de las fases sólidas formadas, y la evolución del pH de dichos medios.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Con el fin de conocer la variación de la concentración de los iones calcio, sulfato y del pH del agua potable filtrada en donde han estado sumergidas las probetas de mortero (1 : 3), hechas con cemento 1 y con las mezclas cemento 1/escoria = 85/15 - 65/35 - 40/60 y 30/70 (en peso), durante el periodo de curado (21 días) y de conservación (56, 90, 180 y 360 días) se ha separado, en una primera etapa, la fase sólida formada, que se ha secado en una corriente de nitrógeno; posteriormente, se ha determinado la concentración de los iones señalados y el valor de pH. En la fase sólida, una vez puesta en disolución por ataque con una disolución de ácido clorhídrico diluido, se ha determinado el contenido de Ca (II) y de SO_4 (II).

El contenido de los iones calcio se ha determinado complexométricamente con EDTA, el de los iones sulfato gravimétricamente al estado de sulfato de bario, y el valor del pH por medio de un pH-metro, marca CRISON, modelo 501.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Período de curado

En la tabla 1 figuran las cantidades de Ca (II), en moles $\times 10^{-2}$, que se encuentran en la fase líquida (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas, durante el periodo de curado (21 días), las diversas series de probetas de mortero, así como el valor del pH. También se encuentran, en dicha tabla, las cantidades del mencionado ion correspondientes a las nuevas fases sólidas formadas.

En el agua potable filtrada en donde han estado sumergidas las diversas series de probetas de

(*) Sistema: cemento 1/escoria-agua potable filtrada.

(**) Sistema: cemento 1/escoria-agua de mar artificial.

TABLA 1
Sistema: cemento 1/escoria-agua potable filtrada
Evolución de los contenidos de Ca (II) y del pH durante el período de curado (21 días)

Mezcla cemento 1/escoria (en peso)	Ca (II), moles $\times 10^{-2}$			pH
	Fase líquida (Disolución)	Fase sólida	Suma	
100/0	0,27	0,64	0,91	12,0
85/15	0,02	0,69	0,71	11,5
65/35	0,01	0,62	0,63	11,0
40/60	0,00 ₂	0,57	0,57	9,5
30/70	0,00 ₂	0,50	0,50	9,5

mortero hechas con cemento 1 y con las mezclas cemento 1/escoria = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70 (en peso) durante el período de curado (21 días) se ha producido un incremento de Ca (II) (*), que se ha detectado tanto en la fase sólida como en la líquida, y del valor del pH (**): además, se ha formado una nueva fase sólida constituida por el compuesto cristalino calcita, como se ha puesto de manifiesto en (2).

Las cantidades de Ca (II), en moles $\times 10^{-2}$, que se encuentran en la nueva fase sólida y en la fase líquida, así como el valor del pH de dicha fase líquida, son las que figuran en la tabla 1. En dicha tabla, se puede observar que, prácticamente, todo el Ca (II) se encuentra en la fase sólida formando parte de la calcita, de un modo especial, en los medios (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las series de probetas hechas con las diversas mezclas cemento 1/escoria.

Las mencionadas cantidades de Ca (II) [Ca (II) en la fase sólida + Ca (II) en la fase líquida] disminuyen en los medios en donde se han curado las series de probetas, conforme lo hace la cantidad de cemento 1 en la mezcla utilizada para fabricar dichas series de probetas, siguiendo la evolución representada en la figura 1.

El pH del agua potable filtrada (7,4) se ha incrementado en todos los casos, alcanzando el valor más alto (12,0) en los medios en donde han estado sumergidas las probetas hechas con cemento 1 y el más bajo (9,5) en donde se han curado las series de probetas fabricadas con las mezclas cemento 1/escoria = 40/60 y 30/70 (en peso).

En la figura 1, en donde también se han representado las cantidades teóricas de Ca (II) que aportaría la mezcla cemento 1/escoria utilizada en la fabricación de las probetas de mortero suponiendo inerte a la escoria, se aprecia que las cantidades experimentales de Ca (II) = Ca (II) en la disolución + Ca (II) en la fase sólida, correspondientes a los medios de curado de las series de probetas hechas con las mezclas que tienen cantidades de escoria ≥ 35 % (en peso) son ligeramente mayores o menores que las teóricas e iguales para la mezcla que tiene 35 % de escoria.

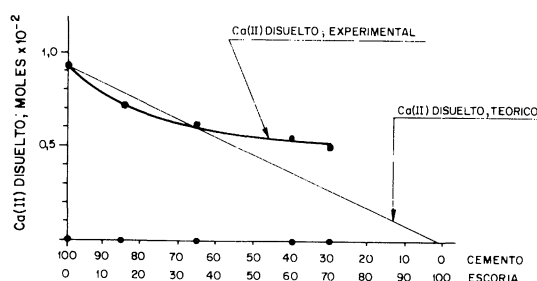


Fig. 1.—Sistema: cemento 1/escoria-agua potable filtrada. Período de curado: 21 días. Evolución del contenido de Ca (II) en la disolución más en la fase sólida.

(*) El contenido de Ca (II) en el agua potable filtrada es 0,005 g/l \leq 0,0025 g en 500 ml \leq 0,006 $\times 10^{-2}$ moles.

(**) El valor del pH del agua potable filtrada es 7,4.

La nueva fase sólida formada, impurificada a veces por pequeñas fracciones desprendidas de las probetas de mortero (2), sigue una evolución análoga a la de las cantidades de Ca (II) de la fase sólida.

3.2. Período de conservación

En el medio (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las distintas series de probetas de mortero, después del periodo de curado, durante 56 - 90 - 180 y 360 días se ha producido un incremento de la concentración de iones calcio, sulfato (suave), así como del valor del pH, habiéndose formado una nueva fase sólida, que está constituida por el compuesto cristalino calcita, como se probó en (2).

En la tabla 2 figuran los resultados obtenidos para cada edad y para cada serie de probetas de mortero correspondientes a las nuevas fases sólidas formadas [cantidad, compuestos cristalinos identificados por DRX, contenidos de Ca (II) y de SO₄ (II)] y a la disolución, agua potable filtrada, [pH, cantidades de Ca (II) y de SO₄ (II)] en donde se han conservado dichas series de probetas.

TABLA 2
Sistema: cemento I/escoria-agua potable filtrada
Evolución de la fase sólida formada, del pH y de los contenidos de Ca (II) y de SO₄ (II)

Cemento I escoria (en peso)	Edad	Fase sólida		Disolución pH	Ca (II); moles $\times 10^{-2}$			SO ₄ (II); moles $\times 10^{-2}$		
	días	g	DRX		Disolución	Fase sólida	Suma	Disolución	Fase sólida	Suma
100/0	56	1,15	Calcita	11,7	0,04	1,15	1,19	0,00 ₂	n.d.	0,00 ₂
85/15		0,83	"	10,7	0,02	0,82	0,84	0,00 ₂	n.d.	0,00 ₂
65/35		0,63	"	8,7	0,02	0,62	0,64	0,00 ₆	n.d.	0,00 ₆
40/60		0,21	"	8,5	0,03	0,20	0,23	0,02	n.d.	0,02
30/70		0,19	"	8,3	0,04	0,20	0,24	0,03	n.d.	0,03
100/0	90	1,69	Calcita	8,5	0,02	1,45	1,47	0,00 ₅	n.d.	0,00 ₅
85/15		1,07	"	9,1	0,02	1,07	1,09	0,00 ₂	n.d.	0,00 ₂
65/35		0,26	"	8,8	0,02	0,25	0,27	0,00 ₇	n.d.	0,00 ₇
40/60		0,13	"	8,5	0,03	0,12	0,15	0,02	n.d.	0,02
30/70		0,10	"	8,4	0,04	0,10	0,14	0,04	n.d.	0,04
100/0	180	1,45	Calcita	12,1	0,52	1,45	1,97	0,01	n.d.	0,01
85/15		0,94	"	10,4	0,00 ₇	0,95	0,96	0,00 ₂	n.d.	0,00 ₂
65/35		0,78	"	8,5	0,01	0,77	0,78	0,02	n.d.	0,02
40/60		0,35	"	8,2	0,06	0,35	0,41	0,08	n.d.	0,08
30/70		0,47	"	8,0	0,07	0,47	0,54	0,08	n.d.	0,08
100/0	360	3,90	Calcita	8,7	0,01	3,89	3,90	0,00 ₇	n.d.	0,00 ₇
85/15		2,13	"	8,7	0,02	2,12	2,14	0,40	n.d.	0,40
65/35		1,21	"	8,5	0,02	1,20	1,22	0,06	n.d.	0,06
40/60		0,66	"	8,2	0,09	0,65	0,74	0,10	n.d.	0,10
30/70		0,53	"	8,1	0,12	0,52	0,64	0,12	n.d.	0,12

n.d. = no detectado.

Evolución de la fase sólida

En las figuras 2 y 3 se ha representado la evolución de la fase sólida en función de la mezcla cemen-

to 1/escoria utilizada en la fabricación de las diversas series de probetas de mortero para cada edad, en la primera, y del tiempo de conservación para cada mezcla, en la segunda.

La cantidad de fase sólida es, para cada edad, función de la mezcla utilizada en la fabricación de las distintas series de probetas (figura 2), experimentando una disminución conforme lo hace la cantidad de cemento 1 en la mezcla, o aumenta la de escoria; esta disminución es pronunciada, a veces exponencial, según aumenta el tiempo de conservación. Dicha cantidad de fase sólida, para cada mezcla, es función del tiempo de conservación (figura 3), aumentando conforme lo hace la edad; los incrementos experimentados de dicha fase sólida, en el medio donde han estado sumergidas durante 360 días las diversas series de probetas de mortero, con relación al medio que corresponde a 56 días, ha sido de 2,75 g; 1,30 g; 0,58 g; 0,45 g y 0,34 g para las series hechas con cemento 1 y con las mezclas cemento 1/escoria = 85/15, 65/35, 40/60 y 30/70 (en peso), respectivamente.

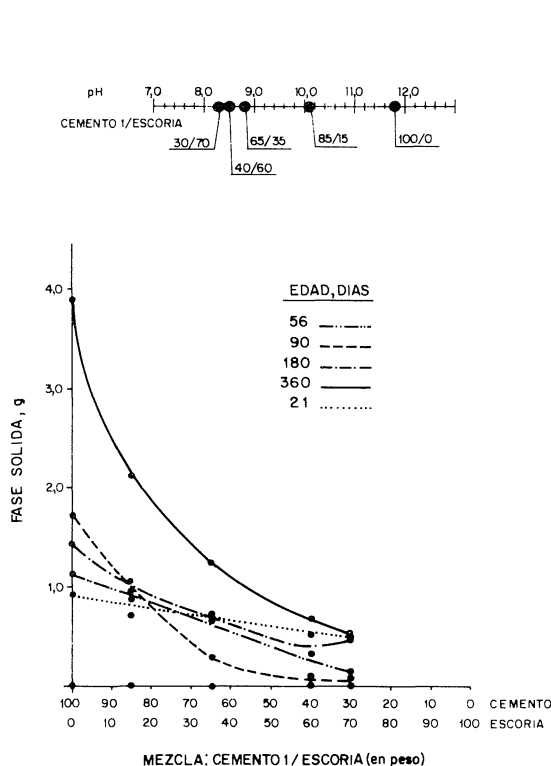


Fig. 2.—Sistema: cemento 1/escoria-agua potable filtrada. Periodo de conservación: 56-90-180 y 360 días. Evolución de la cantidad de fase sólida y del pH.

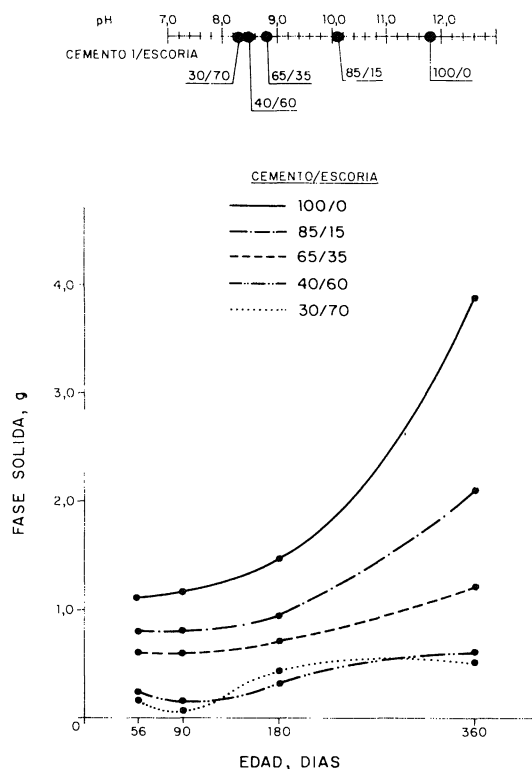


Fig. 3.—Sistema: cemento 1/escoria-agua potable filtrada. Periodo de conservación: 56-90-180 y 360 días. Evolución de la cantidad de fase sólida y del pH.

En resumen, las mayores cantidades de fase sólida formada corresponden a los medios en donde han estado sumergidas las series de probetas hechas con cemento 1 (figura 3), para todas las edades, y para la edad mayor (360 días) para cada una de las distintas mezclas (figura 2).

Evolución del contenido de Ca (II)

En las figuras 4 y 5 se ha representado la evolución del contenido de Ca (II) que existe en la disolución y en la nueva fase sólida [Ca (II) procedente de los compuestos del cemento disueltos], junto con el Ca (II) presente en los 800 ml/ del agua potable filtrada, en función de la mezcla cemento 1/escoria utilizada en la fabricación de las distintas series de probetas de mortero, en la primera figura, y del tiempo que han estado sumergidas las mencionadas series de probetas de mortero en el agua potable filtrada, en la segunda figura.

El contenido de Ca (II) en el agua potable filtrada es $0,005 \text{ g/l} < > 0,004 \text{ g/800 ml} < > 0,01 \times 10^{-2}$ moles en cada sistema parcial; este contenido de Ca (II), prácticamente, se ha incrementado en todos los medios correspondientes a los diversos sistemas estudiados (tabla 2). Las cantidades de Ca (II) en la disolución (agua potable filtrada), que proceden de la disolución de los compuestos correspondientes del cemento hidratado es, por regla general, inferior a $0,1 \times 10^{-2}$ moles en todos los casos, excepto para los medios en donde han estado las series de probetas hechas con cemento 1 y con la mezcla cemento 1/escoria = 30/70 (en peso) para $t = 22 + 180$ días y $22 + 360$ días, respectivamente; por el contrario, en la nueva fase sólida son superiores a dicha cantidad.

En la figura 4 se aprecia que dicha cantidad de Ca (II) total [Ca (II) en la disolución + Ca (II) en la nueva fase sólida] es función, para cada edad, de la mezcla utilizada en la fabricación de las distintas series de probetas, experimentando una disminución conforme lo hace el contenido de cemento en la mezcla. Esta disminución es tanto más acentuada conforme aumenta el tiempo de conservación; los valores menores corresponden a los medios en donde han estado sumergidas las series de probetas de mortero hechas con las mezclas que tienen el menor contenido de cemento (40 y 30 %) y, por consiguiente, el mayor de escoria (60 y 70 %). La evolución de dicho contenido de Ca (II) está íntimamente ligada a la cantidad de la nueva fase sólida formada (figura 2).

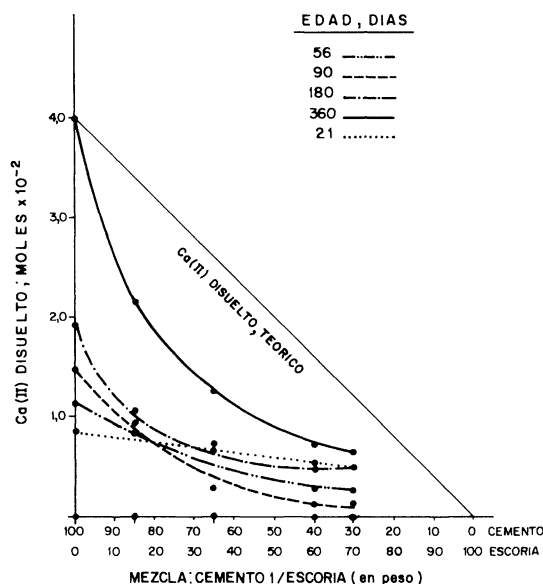


Fig. 4.—Sistema: cemento 1/escoria-agua potable filtrada. Periodo de conservación: 56-90-180 y 360 días. Evolución del contenido de Ca (II) en la disolución más en la fase sólida.

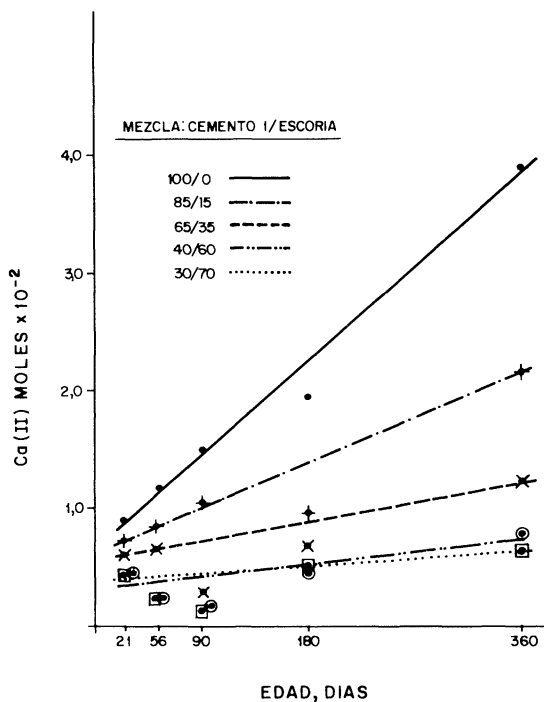


Fig. 5.—Sistema: cemento 1/escoria-agua potable filtrada. Periodo de conservación: 56-90-180 y 360 días. Evolución del contenido de Ca (II) en la disolución más en la fase sólida.

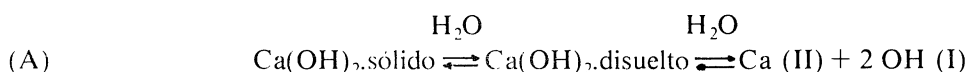
En la figura 5 puede observarse la evolución del mencionado contenido de Ca (II) en la disolución y en la nueva fase sólida de las diversas series de probetas, fabricadas con las distintas mezclas, en función de los tiempos de curado y de conservación. Las mayores cantidades de Ca (II) puestas en juego corresponden, para todas las edades, a los medios en donde han estado sumergidas las series de probetas hechas con cemento 1 y las menores para aquellos medios en donde se han conservado las series de probetas elaboradas con las dos mezclas que tienen el menor contenido de cemento 1 (40 y 30 %), que son del mismo orden.

Evolución del contenido de SO_4 (II)

Los iones sulfato no se han detectado en la nueva fase sólida que se ha formado en todos los casos estudiados y sí en los medios (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las diversas series de probetas (tabla 2). El contenido de dichos iones es del mismo orden que el del agua potable filtrada ($0,003 \text{ g/l} < > 0,002 \times 10^{-2} \text{ moles en } 800 \text{ ml}$) en aquellos medios en donde han estado sumergidas las probetas hechas con cemento 1, para todas las edades, y mayor en los medios en donde se han conservado las probetas fabricadas con las mezclas que tienen los mayores contenidos de escoria (60 y 70 %), para todas las edades; sin embargo, para los casos de los medios en donde han estado las probetas elaboradas con las mezclas cemento 1/escoria = 85/15 y 65/35 (en peso) es del mismo orden, para la primera, y menor, para la segunda, en las primeras edades y mayor en las restantes.

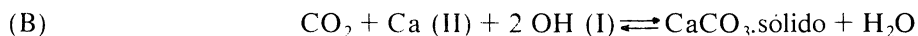
4. INTERPRETACION DE RESULTADOS

El Ca (II) presente en el medio y en la nueva fase sólida del sistema cemento 1/escoria-agua potable filtrada procede, fundamentalmente, de la disolución del hidróxido de calcio generado en las reacciones de hidratación del cemento, según:



produciéndose, además, un aumento de la concentración de iones OH (I) y, por consiguiente, del valor del pH.

El Ca (II) presente en la disolución reacciona, parcialmente, con el CO_2 disuelto en el agua, en medio básico fuerte, de acuerdo con la siguiente reacción:



dando lugar a la formación de la nueva fase sólida, a una disminución de la concentración de iones OH (I) del medio y, por consiguiente, del valor del pH; estos procesos facilitan el avance de las reacciones de hidratación de los compuestos del cemento.

La cantidad de Ca(OH)_2 producida depende de las características y del contenido de clinker en la mezcla cemento 1/escoria utilizada para preparar las diversas series de probetas de mortero, así como del tiempo de conservación: parte de dicho hidróxido de calcio se solubiliza, pasando al medio según la reacción A, y parte reacciona con los compuestos de la escoria. La presencia de escoria en la mezcla hace que el hidróxido de calcio en estado naciente quede fijado, parcialmente, por ella formando compuestos de calcio; en este caso, la concentración de iones OH (I) en el medio es menor, influyendo en el valor del pH.

La solubilidad del Ca(OH)_2 en agua, a 20°C , es de $1,230 \text{ g/l}$ (4) $< > 1,66 \times 10^{-2} \text{ moles/litro} < > 1,33 \times 10^{-2} \text{ moles en los } 800 \text{ ml}$; cantidad que no se ha alcanzado en los medios y en la nueva fase sólida formada en donde han estado sumergidas las series de probetas de mortero hechas con las diversas mezclas de cemento 1 y escoria estudiadas, para todas las edades, excepto para 360 días y para la mezcla cemento 1/escoria = 85/15 (en peso). Por el contrario, en los casos de las probetas fabricadas con cemento 1 sin adición de escoria las cantidades de Ca(OH)_2 disueltas son mayores, habiendo precipitado en gran parte; en el medio (agua potable filtrada) en donde han estado dichas series de probetas hay cantidades de Ca (II) menores de $0,06 \times 10^{-2} \text{ moles}$ (por regla general, son menores de $0,1 \times 10^{-2} \text{ moles}$), por lo que en estos medios, y en los anteriores, puede continuar la reacción (A) de disolución del Ca(OH)_2 si se dan condiciones favorables.

Para que la reacción de carbonatación tenga lugar, en las condiciones de este sistema [elevada concentración de OH (I), cantidades disueltas de Ca (II) que oscilan entre $0,18 \times 10^{-2}$ moles/litro y $4,88 \times 10^{-2}$ moles/litro], se debe cumplir:

$$[\text{Ca (II)}][\text{CO}_3 \text{ (II)}] > P_s (4,8 \times 10^{-9})$$

por lo que, teóricamente, en estos casos se precisan cantidades de CO_2 comprendidas entre $25,8 \times 10^{-7}$ moles/litro y $1,0 \times 10^{-7}$ moles/litro.

En otro trabajo anterior (2), se probó por DRX que las cantidades de Ca(OH)_2 en la fracción enriquecida extraída de las probetas de mortero (pasta de cemento hidratado) es función de la mezcla cemento 1/escoria utilizada para fabricar dichas probetas, disminuyendo (los picos correspondientes en los DRX) para una misma edad conforme lo hace la cantidad de clínker y aumenta la de escoria en la mezcla; por el contrario, se favorece la formación de calcita, por lo que se considera que la adición de escoria influye favorablemente en el grado de carbonatación de la mezcla hidratada. De aquí que, por éstos y por los procesos señalados anteriormente, la cantidad de Ca(OH)_2 disuelta en el agua potable filtrada sea menor y, por consiguiente, también sea menor la cantidad de la nueva fase sólida formada.

La cantidad de fase sólida formada es función, para una misma edad, de la mezcla utilizada y, para una mezcla, del tiempo de conservación; esta cantidad depende del Ca(OH)_2 disuelto, que está íntimamente ligada a la generada en la reacción de hidratación y que no haya formado compuestos poco solubles en agua, más estables que el Ca(OH)_2 .

Del mismo modo, en el valor del pH influye la cantidad de Ca(OH)_2 disuelta, que proporciona los iones OH (I), y del grado de carbonatación, que en la reacción correspondiente consume por cada mol que se forme de CaCO_3 dos moles de OH (I).

El incremento de la concentración de iones sulfato, que se ha producido en los medios en donde han estado sumergidas las dos series de probetas que tienen los mayores contenidos de escoria (60 y 70 %, en peso), procede de la disolución de los compuestos correspondientes que se encuentran en el cemento 1 [tiene un contenido de SO_4 (II) del 4,9 %, en peso], ya que en la escoria no se han detectado; se piensa que este fenómeno se ve favorecido por la presencia de escoria, hecho que se pretende demostrar en otros trabajos experimentales.

5. CONCLUSIONES

5.1. Período de curado

Primera:

En el agua potable filtrada en donde han estado sumergidas las diversas series de probetas de mortero (1 : 3), hechas con cemento 1 y con las mezclas cemento 1/escoria estudiadas en este trabajo, durante 21 días (período de curado), se ha producido un incremento de Ca (II) que, prácticamente, ha precipitado como calcita, dando lugar a una nueva fase sólida. Así mismo, se ha producido un aumento del valor del pH.

Tanto las cantidades de Ca (II) mencionadas, como los valores del pH, son función de la mezcla cemento 1/escoria utilizada en la fabricación de las probetas.

5.2. Período de conservación

Segunda:

En el agua potable filtrada en donde han estado sumergidas las distintas series de probetas de mortero, después del período de curado, durante 56 - 90 - 180 y 360 días, se produce un incremento de la concentración de iones calcio y sulfato (suave), así como del valor del pH, apareciendo una nueva fase sólida, que está formada por el compuesto cristalino calcita.

Tercera:

Las cantidades de Ca (II) en la disolución (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las diversas series de probetas son, por regla general, menores de $0,1 \times 10^{-2}$ moles y superiores en la nueva fase sólida.

Cuarta:

Tanto las cantidades de las nuevas fases sólidas, como las de Ca (II) en la disolución más la fase sólida, son función, para cada edad, de la mezcla utilizada en la fabricación de las probetas y, para cada mezcla, del tiempo de conservación. Dichas cantidades experimentan una disminución o un incremento conforme es menor la cantidad de cemento 1 en la mezcla empleada o aumenta el tiempo de conservación, respectivamente.

Quinta:

En la nueva fase sólida no se han detectado los iones sulfato y sí en las disoluciones (agua potable filtrada) en donde han estado sumergidas las diversas series de probetas, habiendo experimentado un ligero incremento, con relación al contenido del agua potable filtrada original, en los medios correspondientes a las series de probetas elaboradas con las mezclas que tienen los mayores contenidos de escoria (60 y 70 %, en peso).

6. BIBLIOGRAFIA

- (1) SAGRERA-MORENO, J. L. y GASPAR-TEBAR, D.: *Materiales de Construcción*, 178, 17-38. (1980).
- (2) GASPAR-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 181, 33-44, (1981).
- (3) GASPAR-TEBAR, D. y SAGRERA-MORENO, J. L.: *Materiales de Construcción*, 186, 39-60, (1982).
- (4) BICZOK, I.: *Corrosión y Protección del Hormigón*. Ed. Urmo: Bilbao, 1972, pág. 211.

RECONOCIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento a las personas del Equipo de Durabilidad del IETcc: Amalia Rodríguez Pereira, Lucila López Solana, Felipe Cantero Palacios y Manuel Cantero Palacios por su valiosa colaboración en la realización de este trabajo.